# 椿根皮的化学成分及抑菌活性研究

袁亚敏，周晓欢*，王凤霞，明虎斌，何佩，王继红
（平顶山学院 医学院， 河南 平顶山 467000）

**摘　要：**为探寻椿根皮抑菌的物质基础，该文采用硅胶、Sephadex LH-20 等对椿根皮甲醇提取物进行分离纯化，通过理化性质和波谱数据分析单体化合物的结构。采用流式细胞法测试化合物的抑菌活性，以卡那霉素为对照组。结果表明：从椿根皮中分得到 22 个化合物，分别鉴定为 pleuchiol (**1**)、withastramonolide (**2**)、7-ketositosterol (**3**)、白桦酯醇 (**4**)、桦木酸甲酯 (**5**)、1, 2, 4-trimethoxybenzene (**6**)、顺丁烯二酸二甲酯 (**7**)、sonderianol (**8**)、dibutyl phthalate (**9**)、pinoresinol (**10**)、对羟基苯甲酸乙酯 (**11**)、avenalumic acid methyl ester (**12**)、5,3'-dihydroxy-3,7,4'-trimethoxy-flavone (**13**)、spathulenol (**14**)、2-甲基-5-丙基酮-7-羟基色原酮 (**15**)、 7,4'-dihydroxyflavone (**16**)、annphenone (**17**)、3-羟基-4-甲氧基苯甲酸 (**18**)、5,3',4'-三羟基-7-甲氧基二氢黄酮 (**19**)、邻苯二甲酸二丁酯 (**20**)、4-*O*-甲基没食子酸 (**21**)、对苯二甲酸二辛酯 (**22**)。所有化合物均为首次从椿根皮中分离得到。抑菌活性测试显示化合物 **2** 对绿脓杆菌、枯草芽孢杆菌有抑制作用，化合物 **3** 对枯草芽孢杆菌有抑制作用，化合物 **8** 对绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌有抑制作用，化合物 **17** 对绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌有抑制作用。其中化合物 **2** 对枯草芽孢杆菌的抑制作用于卡那霉素无显著差异($P>0.05$)。

**关键词：**椿根，化学成分，分离纯化，结构鉴定，抑菌活性

**中图分类号：**Q946　　　　　　　**文献标识码：**A

# Chemical constituents from the root bark of *Ailanthus altissima* and their bacteriostatic activity

YUAN Yamin, ZHOU Xiaohuan*, WANG Fengxia, MING Hubin, HE Pei, WANG Jihong
(*College of Medical*, *Pingdingshan University*, Pingdingshan 467000, Henan, China)

**Abstract:** In order to explore the material basis of the root bark of root bark of *Ailanthus altissima* antibacterial activity, the silica gel and Sephadex LH-20 were employed to separate and purify methanol extract from the root bark of the *A. altissima*, and the structure of the compounds were identified by chemical properties and spectral data. Flow cytometry was employed to test the antibacterial activity of the compounds, and kanamycin was used as the control group. The results were as follows: Twenty-two compounds were isolated and elucidated from the root bark of *A. altissima* respectively as pleuchiol (**1**), withastramonolide (**2**), 7-ketositosterol (**3**), betulin (**4**),

**基金项目：**河南省高等学校重点科研项目(19A350007)；河南省科技厅科技攻关项目（202102310478）[Supported by Key Scientific Research Project of High Education of Henan Province (19A350007); Key Science and Technology Project of Science and Technology Department of Henan Province (202102310478)]。

**第一作者：**袁亚敏（1979-），硕士，讲师，主要从事医学与教育研究，(E-mail) guoya111king@163.com。
***通信作者：**周晓欢，学士，副教授，主要从事医学教育与药理学研究，(E-mail) lihui333zy@sina.com。

betulinic acid methyl ester (**5**), 1, 2, 4-trimethoxybenzene (**6**), dimethyl maleate (**7**), sonderianol (**8**), dibutyl phthalate (**9**), pinoresinol (**10**), *p*-hydroxybenzoic acid ethyl ester (**11**), avenalumic acid methyl ester (**12**), 5, 3'-dihydroxy-3,7, 4'-trimethoxyflavone (**13**), spathulenol (**14**), 2-methyl-5-acetonyl-7-hydroxychromone (**15**), 7, 4'-dihydroxyflavone (**16**), annphenone (**17**), 3-hydroxy-4-methoxy-benzoic acid (**18**), 5, 3',4'-trihydroxy-7-methoxyflavanone (**19**), dibutyl phthalate (**20**), 4-*O*-methylgallic acid (**21**), dioctyl terephthalate (**22**). All compounds were isolated from the root bark of *A. altissima* for the first time. The antibacterial activity tests showed that compound **2** had inhibitory effects on *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis*. Compound **3** had inhibitory effects on *Bacillus subtilis*. Compound **8** had inhibitory effects on *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis*. Compound **17** had inhibitory effects on *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. The inhibitory effect of compound **2** on *Bacillus subtilis* was not significantly different from kanamycin ($P$＞0.05). This paper aims to clarify the bacteriostatic substance basis of the root bark of the root bark of *A. altissima*, and provide a certain theoretical basis for the development and utilization of the root bark of the root bark of *A. altissima* resources and the research and development of drugs with antibacterial activity.

**Key words**: *Ailanthus altissima*, chemical compositions, separation and purification, structure identification, bacteriostatic activity



椿根皮又称臭椿皮、樗白皮、椿根白皮，为苦木科植物臭椿(*Ailanthus altissima*)的根皮或干皮（全国中草药汇编组，1975）。主要分布于河南、广西、河北、湖北、安徽、江西、浙江等地，功效清热燥湿，涩肠止泻。临床多用于治疗细菌引起的结肠炎、直肠炎、阴道炎、痔疮、子宫颈内膜炎、菌痢等。刘昌海和张家驹（2003）采用椿根皮散联合真人养脏汤治疗直肠炎，患者的临床症状明显好转，总有效率为 80%。现代药理显示（Du et al., 2019；Yan et al., 2020）椿根皮具有抑菌、抗病毒、抗疟疾、抗肿瘤、抗血小板凝聚、解热等活性。朱育凤等分别测试了椿根皮的水粗提物和乙醇粗提物的体外抑菌活性，结果显示：椿根皮的水粗提物对金黄色葡萄球菌具有一定的抑制活性，但无明显抗绿脓杆菌和大肠杆菌活性；乙醇粗提物对金黄色葡萄球菌、绿脓杆菌和大肠杆菌均具有显著抑制活性，而且乙醇粗提物对金黄色葡萄球菌、绿脓杆菌和大肠杆菌抑菌圈控制明显优于水粗提物（朱育凤等，2021）。关于椿根皮单体化合物的报道较少，齐鑫等（2011）从椿根皮分离出铁屎米酮糖酯、臭椿苦内酯、臭椿辛内酯 A、11-乙酰臭椿苦内酯。本课题组在既往研究中从椿根皮 95%乙醇提取物中分离得到 15 个化合物（周晓欢等，2021）。本文对椿根皮进一步研究，旨在明确椿根皮的抑菌物质基础，为椿根皮的资源的开发利用及抑菌活性的药物研发提供了一定的参照依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 材料、仪器和试剂

1.1.1 材料

椿根皮采自广西北海市，由平顶山学院王继红副教授鉴定为臭椿(*Ailanthus altissima*) 的根皮。绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌 (四川睿诺赛生物科技有限公司)。

1.1.2 仪器和试剂

Triple5600+型高分辨质谱仪（德国 Bruker 公司）；AVANCE NEO-600 型核磁共振波谱仪 (美国 Waters 公司) ；ME188T 型分析天平 (美国 Mettler toledo 公司) ；Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶 (德国 Merck 公司) ；LHY3100T 型电子天平 (德国 Florenz sartorius 公司) ；柱色谱硅胶 (青岛海洋化工厂) ；氘代试剂 DMSO-$d_6$ (德国 Sigma-aldrich 公司) 。

**1.2 实验方法**

1.2.1 提取和分离

取干燥椿根皮 19. 6 kg，分别采用 95％甲醇、50％甲醇浸泡提取，回收溶剂得椿根皮浸膏 2. 3 kg。将浸膏分散于蒸馏水中，依次用等体积的石油醚、丙酮、正丁醇萃取，回收溶剂得石油醚层 (151. 3 g)，丙酮层 (106. 4 g)，正丁醇层 (117. 6 g)。取石油醚层，经硅胶柱分离，以石油醚-乙酸乙酯 (80:20~50:50~20:80)梯度洗脱，得 7 个组分 (Fr.A1~Fr.A7)。取 Fr.A2 (7. 1 g)，经硅胶柱，以石油醚-丙酮(70:30~30:70)梯度洗脱，得 5 个组分 (Fr.A2-1~Fr.A2-5)。取 Fr.A2-2 (206. 8 mg)，经 Sephadex LH-20，得化合物 **8** (19 mg)、**23** (31 mg)。取 Fr.A5 (8. 3 g)，经硅胶柱，以石油醚-二氯甲烷 (60:40~20:80)梯度洗脱，得 6 个组分（Fr.A5-1~Fr.A5-6）。取 Fr.A5-1 (224. 1 mg)，经硅胶柱，以石油醚-二氯甲烷 (50:50)洗脱，得化合物 **22** (21 mg)；取 Fr.A5-3 (95. 3 mg)，经 Sephadex LH-20，得化合物 **4** (23 mg)、**15** (34 mg)。取 Fr.A6 (6. 8 g)，经硅胶柱，以石油醚-乙酸乙酯 (50:50~20:80)梯度洗脱，得 7 个组分 (Fr.A6-1~Fr.A6-7)。取 Fr.A6-5(102. 4 mg)，经 Sephadex LH-20，得化合物 **14** (28 mg)、**21** (26 mg)。取丙酮层，经硅胶柱分离，以石油醚-二氯甲烷(70:30~50:50~30:70)梯度洗脱，得 8 个组分 (Fr.B1~Fr.B8)。取 Fr.B1(8. 5 g)，经硅胶柱分离，以石油醚-乙酸乙酯 (75:25~25:75)梯度洗脱，得 7 个组分 (Fr.B1-1~Fr.B1-7)。取 Fr.B1-3 (192. 3 mg)，经 Sephadex LH-20，得化合物 **1** (28 mg)、**3** (23 mg)；Fr.B1-5 (253. 4 mg)，经硅胶柱，以石油醚-二氯甲烷 (60:40)洗脱，得化合物 **13** (16 mg)、**20** (29 mg)。取 Fr.B4 (7. 5 g)，经硅胶柱分离，以石油醚-二氯甲烷(55:45~15:75)梯度洗脱，得 6 个组分（Fr.B4-1~Fr.B4-6）。取 Fr.B4-3 (181. 5 mg)，经硅胶柱，以石油醚-丙酮 (35:65)洗脱，得化合物 **7** (21 mg)、**12** (18 mg)；取 Fr.A4-4 (73. 5 mg)，经 Sephadex LH-20，得化合物 **2** (19 mg)、**19** (26 mg)。取 Fr.B7 (10. 2 g)，经硅胶柱分离，以石油醚-二氯甲烷 (55:45~15:75)梯度洗脱，得 8 个组分（Fr.B7-1~Fr.B7-8）。取 Fr.B7-2 (151. 3 mg)，经硅胶柱，以石油醚-二氯甲烷 (45:55)洗脱，得化合物 **9** (33 mg)、**16** (28 mg)；取 Fr.B7-7(131. 4 mg)，经硅胶柱，以石油醚-二氯甲烷 (35:65)洗脱，得化合物 **11** (21 mg)、**18** (35 mg)。取正丁醇层，经硅胶柱分离，以乙酸乙酯-甲醇 (65:35~35:65~15:85)梯度洗脱，得 6 个组分 (Fr.C1~Fr.C6)。取 Fr.C2 (8.4 g)，经硅胶柱分离，以丙酮-甲醇 (55:45~15:85)梯度洗脱，得 7 个组 (Fr.C2-1~Fr.C2-7)。取

Fr.A2-2 (175. 3 mg)，经 Sephadex LH-20，得化合物 **5** (33 mg)、**6** (19 mg)、**10** (32 mg)。取 Fr.C5 (9. 7 g)，经硅胶柱分离，以二氯甲烷-甲醇 (45:55~25:75)梯度洗脱，得 5 个组分 (Fr.C5-1~Fr.C5-5)。取 Fr.C5-3 (95. 3 mg)，经 Sephadex LH-20，得化合物 **17**(31 mg)。

1.2.2 抑菌活性实验

采用流式细胞法（李仪奎，1991；李东霞等，2013）测定化学物 **2**、**3**、**8**、**17** 的抑菌活性，以卡那霉素为对照组。取绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌标准菌株，接种于麦康凯肉汤培养基中，于 36 ℃下培养 48 h，采用生理盐水稀释（浓度为 $1\times10^5$ CFU $mL^{-1}$），置于琼脂平板上。对照组和化合物样品配置成浓度为 0.1、0.5、1.0、4.0、8.0、12.0、25.0、50.0、100.0、200.0 $\mu g\cdot mL^{-1}$。分别将含有样品的无菌圆形滤纸片置于接种过绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌的培养基上，37 ℃下培养 24 h。检查抑菌圈、最低抑菌浓度(MIC)。分析化合物对绿脓杆菌、金黄色葡萄和枯草芽孢杆菌的抑制活性。

# 2 结果与分析

## 2.1 化合物结构鉴定

化合物 **1**：白色结晶。HR-ESI-MS *m/z*：412. 873 1 $[M + H]^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：5. 41 (1H，t，*J* = 9. 6 Hz，H-6)，5. 11 (1H，m，H-11)，5. 02 (1H，d，*J* = 9. 6 Hz，H-12)，3. 54 (1H，m，H-3)，1. 02 (3H，d，*J* =9. 6 Hz，H-21)，0. 91 (3H，s，H-19)，0. 83 (3H，d，*J* = 9. 6 Hz，H-26)，0. 81 (3H，d，*J* = 6. 3 Hz，H-27)，0. 79 (3H，t，*J* = 9. 6 Hz，H-29)，0. 68 (3H，s，H-18)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) δ：39. 7 (C-1，s)，33. 4 (C-2，s)，74. 1 (C-3，d)，42. 5 (C-4，s)，140. 9 (C-5，s)，123.2 (C-6，s)，25. 3 (C-7，d)，52. 4 (C-8，s)，51. 3 (C-9，s)，35. 7 (C-10，s)，129. 4 (C-11，s)，136. 4 (C-12，d)，42. 3 (C-13，s)，58.1 (C-14，s)，24. 2 (C-15，t)，30. 4 (C-16，d)，56. 1 (C-17，s)，12. 3 (C-18，t)，21.5 (C-19，s)，36. 1 (C-20，d)，19. 2 (C-21，s)，41. 2 (C-22，s)，25.8 (C-23，d)，47. 1 (C-24，s)，29. 1 (C-25，s)，21. 4 (C-26，d)，19. 3 (C-27，s)，24. 3 (C-28，s)，12. 9 (C-29，s)。以上数据与文献（李南，2021）基本一致，故鉴定化合物 **1** 为 pleuchiol。

化合物 **2**：黄色粉末。HR-ESI-MS *m/z*：486. 701 3 $[M + H]^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：6. 71 (1H，ddd，*J* = 9. 6，4. 8，2. 2 Hz，H-3)，5.81 (1H，dd，*J* = 9. 6，4. 8 Hz，H-2)，4. 03 (1H，br s，H-12 )，2. 97 (1H，d，*J* = 9. 6 Hz，H-6)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：205. 7 (C-1，s)，131. 4 (C-2，s)，141. 6 (C-3，s)，37. 6 (C-4，d)，75. 1 (C-5，s)，56. 8 (C-6，s)，58. 3 (C-7，s)，36. 7 (C-8，s)，30. 1 (C-9，d)，53. 1 (C-10，t)，29. 7 (C-11，s)，74. 1 (C-12，d)，49. 3 (C- 13，s)，44. 6 (C-14，s)，23. 9 (C-15，d)，27. 8 (C-16，s)， 45. 1 (C-17，s)，13. 3 (C-18，d)，16. 1 (C-19，t)，41. 2 (C-20，d)，13. 1 (C-21，s)，79. 3 (C-22，s)，31. 4 (C-

23，s)，159.3 (C-24，s)，127. 3 (C-25，s)，169. 1 (C-26，q)，58. 2 (C-27，s)，21. 8 (C-28，s)。以上数据与文献（Kuang et al., 2010）基本一致，故鉴定化合物 **2** 为 withastramonolide。

化合物 **3**: 白色粉末。HR-ESI-MS *m/z*: 429. 423 9 [M + H] $^{+}$。$^{1}$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：5. 73 (1H，s，H-6)，3. 81 (1H，m，H-3)，1. 16 (3H，s，H-19)，0. 87 (3H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-21)，0. 83 (3H，t，$J$ = 9. 6 Hz，H-29)，0. 81 (3H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-26)，0. 73 (3H，d，$J$ = 4. 8 Hz，H-27)，0. 68 (3H，s，H-18)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：37. 1 (C-1，s)，30. 6 (C-2，s)，69. 2 (C-3，s)，40. 8 (C-4，s)，164. 7 (C-5，s)，125. 3 (C-6，s)，201. 4 (C-7，s)，46. 1 (C-8，s)，50. 7 (C-9，s)，39. 1 (C-10，d)，20. 6 (C-11，s)，39. 1 (C-12，s)，42. 7 (C-13，s)，50. 3 (C-14，d)，27. 6 (C-15，s)，29. 1 (C-16，t)，55. 2 (C-17，s)，12. 1 (C-18，d)，18. 4 (C-19，s)，35. 7 (C-20，s)，20. 1 (C-21，s)，34. 1 (C-22，s)，25. 8 (C-23，s)，46. 1 (C-24，q)，30. 2 (C-25，t)，20. 5 (C-26，s)，20. 1 (C-27，q)，22. 8 (C-28，s)，12. 1 (C-29，t)。以上数据与文献（周勤梅等，2016）基本一致，故鉴定化合物 **3** 为 7-ketositosterol。

化合物 **4**: 白色粉末。HR-ESI-MS *m/z*: 427. 815 9 [M + H] $^{+}$。$^{1}$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：4. 71 (1H，s，H-29$a$)，4. 62 (1H，s，H-29$\beta$)，3. 73 (1H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-3)，3. 09 (1H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-3)，1. 73 (3H，br s，H-30)，1. 13 (3H，s，H-26)，1. 02 (3H，s，H-23)，0. 85(3H，s，H-24)，0. 79 (3H，s，H-25)，0. 68 (3H，s，H-27)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：43. 2 (C-1，s)，29. 1 (C-2，s)，85. 1 (C-3，d)，39. 7 (C-4，s)，56. 1 (C-5，s)，19. 1 (C-6，s)，35. 2 (C-7，s)，40. 6 (C-8，d)，51. 3 (C-9，s)，40. 3 (C-10，s)，20. 7 (C-11，s)，26. 1 (C-12，s)，40. 2 (C-13，s)，43. 1 (C-14，s)，29. 1 (C-15，t)，31. 2 (C-16，s)，50. 4 (C-17，s)，50. 9 (C-18，s)，51. 2 (C-19，d)，149. 3 (C-20，s)，30. 4 (C-21，s)，31. 6 (C-22，s)，29. 7 (C-23，d)，17. 1 (C-24，s)，17. 2 (C-25，s)，17. 9 (C-26，s)，15. 3 (C-27，s)，59.3 (C-28，t)，109. 4 (C-29，q)，20. 1 (C-30，q)。以上数据与文献（Omar et al., 2019）基本一致，故鉴定化合物 **4** 为白桦酯醇。

化合物 **5**: 白色针晶。HR-ESI-MS *m/z*: 471. 142 9 [M + H] $^{+}$。$^{1}$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：4. 91 (1H，d，$J$ = 4. 8 Hz，H-29$a$)，4. 52 (1H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-29$\beta$)，3. 69 (3H，s，3-$OCH_3$)，3. 17 (1H，td，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-3)，2. 93 (1H，td，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-19)，1. 84 (3H，s，H-30)，1. 57(3H，s，H-27)，1. 13 (3H，s，H-26)，0. 87 (3H，s，H-25)，0. 74 (3H，s，H-24)，0. 65 (3H，s，H-23)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：39. 1 (C-1，s)，26. 8 (C-2，s)，80. 1 (C-3，s)，40. 3 (C-4，d)，56. 7 (C-5，s)，19. 1 (C-6，s)，35. 1 (C-7，s)，41. 3 (C-8，s)，52. 4 (C-9，s)，36. 8 (C-10，s)，21. 7 (C-11，d)，26. 2 (C-12，s)，39. 1 (C-13，d)，43. 5 (C-14，s)，30. 2 (C-15，d)，31. 8 (C-16，s)，57. 2 (C-17，s)，51. 2 (C-18，s)，46. 8 (C-19，s)，151. 4 (C-20，s)，31. 1 (C-21，s)，36. 9 (C-22，s)，29. 1 (C-23，s)，16. 1 (C-24，s)，15. 8 (C-25，s)，15. 6 (C-26，t)，15. 3 (C-27，s)，175. 3 (C-28，s)，108. 4 (C-29，t)，20.1

(C-30，s)，50. 2 (3-$OCH_3$，q)。以上数据与文献（李曼姝等，2021）基本一致，故鉴定化合物 **5** 为桦木酸甲酯。

化合物 **6**：白色结晶。HR-ESI-MS *m/z*：169. 316 2 [M + H]$^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：7. 61 (1H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-5)，7. 45 (1H，s，H-2)，6. 93 (1H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-6)，4. 03 (9H，s，4-$OCH_3$)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：151. 3 (C-1，s)，113. 4 (C-2，s)，146. 2 (C-3，t)，148. 1 (C-4，d)，124. 1 (C-5，s)，113. 2 (C-6，d)，55. 8 (1-$OCH_3$，q)，55. 8 (2-$OCH_3$，q)，55. 0 (4-$OCH_3$，q)。以上数据与文献（李曼姝等，2021）基本一致，故鉴定化合物 **6** 为 1,2,4-trimethoxybenzene。

化合物 **7**：白色粉末。HR-ESI-MS *m/z*：143. 109 3 [M + H]$^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：6. 91 (2H，s，H-2，3)，3. 76 (6H，s，1′，2′-$OCH_3$)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) δ：169. 2 (C-1，s)，133. 1 (C-2，t)，133. 1 (C-3，s)，169. 2 (C-4，d)，51. 6 (1′-$OCH_3$，q)，51. 6 (2′-$OCH_3$，q)。以上数据与文献（罗伟等，2021）基本一致，故鉴定化合物 **7** 为顺丁烯二酸二甲酯。

化合物 **8**：黄色粉末。HR-ESI-MS *m/z*：298. 681 5 [M + H]$^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：6. 71 (1H，s，H-11)，6. 62 (1H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-15)，5. 47 (1H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-16$\alpha$)，5. 09 (1H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-16$\beta$)，2. 91 (1H，$J$ = 9. 6，4. 8，2. 2 Hz，H-2$\beta$)，2. 37 (1H，ddd，$J$ = 9. 6，4. 8，2. 2 Hz，H-1)，2. 23 (3H，s，H-17)，2. 02 (1H，ddd，$J$ = 9. 6，4. 8，2. 2 Hz，H-1)，1. 91 (2H，ddd，$J$ = 9. 6，4. 8，2. 2 Hz，H-6)，1. 68 (2H，ddd，$J$ = 9. 6，4. 8，2. 2 Hz，H-7)，1. 27 (3H，s，H-20)，1. 21 (3H，s，H-18)，1. 08 (3H，s，H-19)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：38. 2 (C-1，s)，35. 1 (C-2，t)，54. 1 (C-3，d)，48.3 (C-4，s)，49. 1 (C-5，d)，19. 8 (C-6，t)，30. 4 (C-7，s)，124. 1 (C-8，d)，140. 2 (C-9，s)，36. 9 (C-10，d)，108. 3 (C-11，q)，152. 4 (C-12，t)，120. 1 (C-13，s)，144. 8 (C-14，t)，134.8 (C-15，s)，120. 4 (C-16，q)，13. 1 (C-17，d)，25. 1 (C-18，s)，27. 2 (C-19，s)，20. 6 (C-20，q)。以上数据与文献（Craveiro & Silveira, 1982）基本一致，故鉴定化合物 **8** 为 sonderianol。

化合物 **9**：白色油状物。 HR-ESI-MS *m/z*：279. 208 3 [M + H]$^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：7.82 ( 2H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-3，6)，7. 63 (2H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-4，5)，4. 27 (4H，t，$J$ = 9. 6 Hz，H-1')，1. 83 (2H，m，H- 2')，1. 52 (4H，$J$ = 9. 6 Hz，H-3')，1. 03 (6H，$J$ = 9. 6 Hz，H-4')。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：131. 6 (C-1，s)，131. 6 (C-2，s)，127. 3 (C-3，d)，128. 6 (C- 4，s)，128. 6 (C-5，s)，127. 3 (C-6，d)，64.9 (C-1'，t)，29. 1 (C-2'，s)，20. 8 (C-3'，q)，14. 2 (C-4'，t)。以上数据与文献（Ma et al., 2021）基本一致，故鉴定化合物 **9** 为 dibutyl phthalate。

化合物 **10**：白色粉末。HR-ESI-MS *m/z*：384. 316 8 [M + H]$^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：7. 02 (2H，d，$J$ = 4. 8 Hz，H-2，2′)，6. 93 (2H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-6，6′)，6. 81 (2H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-5，5′)，4. 68 (2H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-7，7′)，4. 17 (2H，

m，H-9$a$, 9′$a$)，3. 91 (6H，s，3，3′-$OCH_3$)，3. 73 (2H，m，H-9$\beta$，9′$\beta$)，3. 09 (2H，m，H-8，8′)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：140. 1 (C-1，s)，108. 7 (C-2，d)，151. 2 (C-3，s)，146. 8 (C-4，d)，115. 8 (C-5，s)，119. 4 (C-6，s)，88. 2 (C-7，t)，56. 1 (C-8，s)，73. 1 (C-9，s)，140. 2 (C-1′，s)，108. 7 (C-2′，d)，151. 2 (C-3′，t)，146. 8 (C-4′，s)，115. 8 (C-5′，s)，119. 4 (C-6′, s)，88. 2 (C-7′, s)，56. 1 (C-8′, s)，73. 1 (C-9′, t)，57. 1 (3-$OCH_3$, q)，57. 1 (3′-$OCH_3$，q)。以上数据与文献（郑琇梅等，2020）基本一致，故鉴定化合物 **10** 为 pinoresinol。

化合物 **11**：无色针晶。HR-ESI-MS $m/z$：167. 317 2 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：8. 04 (2H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-2，6)，6. 93 (2H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-3，5)，4. 41 (2H，q，$J$ = 9. 6 Hz，H-2')，1. 37 (3H，t，$J$ = 9. 6 Hz，H-3')。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：122. 7 (C-1，d)，131. 8 (C-2，s)，114. 8 (C-3，s)，160. 1 (C-4，d)，114. 8 (C-5，d)，131. 8 (C-6，d)，167. 1 (C-1'，t)，61. 4 ( C-2'，q)，16. 2 (C-3'，q)。以上数据与文献（李余钊等，2020）基本一致，故鉴定化合物 **11** 为对羟基苯甲酸乙酯。

化合物 **12**：色油状物。HR-ESI-MS $m/z$：204. 104 6 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：7. 71 (1H，d，$J$ = 4. 8 Hz，H-4)，7. 52 (1H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-3)，7. 38 (2H，d，$J$ = 4. 8 Hz，H-2')，6. 91 (2H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-3')，6. 83 (1H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-5)，6. 27 (1H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-2)，3. 64 (3H，s，3-$OCH_3$)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：171. 2 (C-1，d)，115. 1 (C-2，s)，147.2 (C-3，s)，159. 4 (C-4，d)，116. 2 (C-5，s)，127.1 (C-1'，d)，130. 8 (C-2'，d)，117. 4 (C-3'，t)，134. 1 (C-4'，d)，117. 4 (C-5'，t)，130. 8 (C-6'，t)，51. 8 (3-$OCH_3$，q)。以上数据与文献（Son et al., 2005）基本一致，故鉴定化合物 **12** 为 avenalumic acid methyl ester。

化合物 **13**：黄色粉末。HR-ESI-MS $m/z$：343. 206 4 [M +H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：8. 22 (1H，d，$J$ = 4. 8，H-2')，7. 91 (1H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-6')，7. 09 (1H，d，$J$ = 9. 6 Hz，H-5')，6. 57 (2H，dd，$J$ = 4. 8，2. 2 Hz，H-7， 9)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：137. 2 (C-1，d)，151. 2 (C- 2，s)，140. 2 (C-3，d)，180. 7 (C-4，s)，158. 1 (C-5，d)，100. 3 (C-6，s)，165. 2 (C-7，s)，92. 1 (C-8，s)，163. 1 (C-9，t)，107. 2 (C-10，t)，123.6 (C-1'，s)，116. 8 (C-2'，s)，152. 4 (C-3'，d)，158. 1 (C-4'，t)，113. 1 (C-5'，d)，122. 4 (C-6'，t)，59. 7 (3-$OCH_3$，q)，55. 8 (7-$OCH_3$，q)，57. 4 (4'-$OCH_3$，q)。以上数据与文献（余茜，2021）基本一致，故鉴定化合物 **13** 为 5, 3'-dihydroxy-3, 7, 4'-trimethoxyflavone。

化合物 **14**：无色油状物。HR-ESI-MS $m/z$：220. 281 3 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：4. 76 (1H，m，H- 14$\beta$)，4. 71 (1H，m，H-14$a$)，2. 36 (1H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-4$\beta$)，2. 17 (1H，m，H-6)，2. 11 (1H，m，H-4$a$)，2. 02 (1H，m，H-3$\beta$)，1. 83 (1H，m，H-7$\beta$)，1. 81 (1H，m，H-8$\beta$)，1. 72 (1H，m，H-7$a$) ，1. 63 (1H，m，H-8$a$)，1. 44 (1H，m，H-10)，1. 31 (3H，s，H-15)，1. 14 (3H，s，H-12)，1. 11 (3H，s，H- 13)，0. 98 (1H，m，H-3$a$)，0. 83 (1H，m，H-2)，0.51 (1H，dd，$J$ = 9. 6，4. 8 Hz，H-1)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，

acetone-$d_6$) $\delta$：29. 7 (C-1，s)，28. 3 (C-2，d)，25. 1 (C-3，s)，38.7 (C-4，s)，154. 2 (C-5，d)，54. 1 (C-6，t)，27. 1 (C-7，s)，42. 3 (C-8，d)，80. 8 (C-9，t)，56. 1 (C-10，s)，21. 3 (C-11，s)，29. 1 (C-12，s)，17. 1 (C-13，t)，107. 3 (C-14，s)，27. 1 (C-15，t)。以上数据与文献（余茜，2021）基本一致，故鉴定化合物 **14** 为 spathulenol。

化合物 **15**：白色晶体。HR-ESI-MS *m/z*：233. 104 1 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：7. 13 (1H，*J* = 9. 6 Hz，d，H-8)，6. 83 (1H，*J* = 9. 6 Hz，d，H-6)，5. 73 (1H，s，H-3)，4. 36 ( 2H，s，H-11)，2. 51 (3H，s，H-14)，2. 42 (3H，s，H-13)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：125. 3 (C-1，t)，166. 8 (C-2，s)，110. 7 (C-3，d)，179. 6 (C-4，s)，140. 2 (C-5，d)，120. 3 (C-6，s)，162. 1 (C-7，s)，103. 4 (C-8，t)，160. 5 (C-9，d)，114. 3 (C-10，s)，51. 3 (C-11，t)，207. 3 (C-12，s)，29. 7 (C-13，t)，21. 3 (C-14，d)。以上数据与文献（张再等，2021）基本一致，故鉴定化合物 **15** 为 2-甲基-5-丙基酮-7-羟基色原酮。

化合物 **16**： 黄色粉末。HR-ESI-MS *m/z*：254. 324 6 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：8. 52 (1H，d，*J* = 4. 8 Hz，H-5)，8. 02 (2H，d，*J* = 9. 6 Hz，H-2'，6')，7. 21 (1H，d，*J* = 9. 6 Hz，H-8)，7. 18 (3H，d，*J* = 9. 6 Hz，H-6，3'，5')，6. 93 (1H，s，H-3)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：135. 6 (C-1，s)，164. 1 (C-2，s)，105. 3 (C-3，s)，176. 3 (C-4，d)，128. 5 (C-5，d)，115. 4 (C-6，s)，165. 3 (C-7，t)，104. 6 (C-8，t)，161. 1 (C-9，d)，118. 3 (C-10，t)，125. 2 (C-1'，d)，130. 4 (C-2'，s)，118. 1 (C-3'，q)，163. 1 (C-4'，s)， 118. 1 (C-5'，s)，130. 4 (C-6'，q) 。以上数据与文献（Kitagawa et al., 1998）基本一致，故鉴定化合物 **16** 为 7,4'-dihydroxyflavone。

化合物 **17**：棕色固体。 HR-ESI-MS *m/z*：345. 124 8 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：12. 8 (1H，s，6-OH)，6. 34 (1H，br s，H-3)，6. 09 (1H，d，*J* = 4. 8 Hz，H-5)，5. 13 (1H，d，*J* = 9. 6 Hz，H-1')，3. 92 (3H，s，2-$OCH_3$)，3. 83 (1H，m，H-6'*a*)，3. 72 (1H，m，H-6'$\beta$)，3. 39～3. 44 (3H，m，H-2'，3'，5')，3. 25 (1H，m，H-4')。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：102. 4 (C-1，d)，164. 3 (C-2，s)，91. 8 (C-3，s)，164. 1 (C-4，q)，95. 8 (C-5，s)，163. 1 (C-6，q)，202. 6 (C-7，s)，33. 1 (C-8，d)，102. 3 (C-1'，s)，74. 2 (C-2'，q)，76. 8 (C-3'，t)，70. 1 (C-4'，t)，77. 1 (C- 5'，t)，61. 2 (C-6'，s)，55. 8 (2-$OCH_3$，q)。以上数据与文献（Afshar et al., 2017）基本一致，故鉴定化合物 **17** 为 annphenone。

化合物 **18**：白色粉末。HR-ESI-MS *m/z*：169. 275 1 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：7. 53 (1H，dd，*J* = 9.6，4.8 Hz，H-6)，7. 41 (1H，s，H-2)，7. 03 (1H，d，*J* = 9. 6 Hz，H-5)，3. 96 (3H，s，4-$OCH_3$)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：122. 4 (C-1，t)，115. 8 (C-2，d)，147. 1 (C-3，d)，150. 8 (C-4)，s，110. 4 (C-5，d)，130. 4 (C-6，t)，57.3 (4-$OCH_3$，q)，168. 3 (7-COOH，q)。上数据与文献（刘欣媛等，2018）基本一致，故鉴定化合物 **18** 为 3-羟基-4-甲氧基苯甲酸。

化合物 **19**：白色粉末。 HR-ESI-MS *m/z*：303. 104 3 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：6. 91～6. 86 (3H，m，H-2'，5'，6')，5. 93( 2H，m，H-6，8)，5. 36 (1H，dd，$J$ = 4. 8，2. 2 Hz，H-2)，3. 92 (3H，s，7-$OCH_3$)，3. 16 (2H，m，H-3)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：63. 2 (C-1，s)，79. 1 (C-2，t)，43. 6 (C-3，t)，196. 4 (C-4，d)，161. 7 (C-5，q)，95. 1 (C-6，t)，166. 8 (C-7，s)，94. 1 (C-8，s)，163. 2 (C-9，s)，103. 1 (C-10，t)，130. 2 (C-1'，q)，113. 8 (C-2'，d)，146. 1 (C-3'，t)，146. 3 (C-4'，d)，114. 1 (C-5'，s)，117. 2 (C-6'，d)，56. 1 (7-$OCH_3$，q)。上数据与文献（谢安然等，2021）基本一致，故鉴定化合物 **19** 为 5,3',4'-三羟基-7-甲氧基二氢黄酮。

化合物 **20**：黄色油状物。HR-ESI-MS *m/z*：279. 316 7 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：7. 81 (2H，m，H-3，6)，7. 46 (2H，m，H-4，5)，4. 29 (4H，t，$J$ = 9. 6 Hz，H-1'，1″)，1. 83 (4H，m，H-2'，2″)，1. 51 (4H，m，H-3'，3″)，1. 03 (6H，t，$J$ = 9. 6 Hz，H-4'，4″)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：133. 1 (C-1，s)，133. 1 (C-2，s)，130.2 (C-3，s)，132. 6 (C-4，d)，132. 6 (C-5，s)，130. 2 (C-6，d)，66. 4 (C-1'，s)，31. 2 (C-2'，d)，20. 1 (C-3'，s)，14. 6 (C- 4'，s)，66. 4 (C-1″，s)，31. 2 (C-2″，s)，20. 1 (C-3″，d)，14. 6 (C-4″，d)。以上数据与文献（邹园生等，2019）基本一致，故鉴定化合物 **20** 为邻苯二甲酸二丁酯。

化合物 **21**：白色固体。HR-ESI-MS *m/z*：187. 416 2 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：9. 24 ( 1H，s，3，5-OH)，9. 02 (1H，s，3-OH)，6. 87 (1H，s，H-2，6)，3.18 (3H，s，4-$OCH_3$)。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：120.1 (C-1，s)，146. 4 (C-2，s)，109. 1 (C- 3，d)，139. 1 (C-4，s)，109. 1 (C-5，d)，146. 4 (C-6，s)，59. 4 (4-$OCH_3$，q)。以上数据与文献（Virginie et al., 2018）基本一致，故鉴定化合物 **21** 为 4-*O*-甲基没食子酸。

化合物 **22**：黄色油状物。HR-ESI-MS *m/z*：391. 203 7 [M + H] $^+$。$^1$H-NMR (600 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：8. 26 (4H，s，H-3，4，6，7)，4. 34 (4H，m，H-1'，1")，1. 81 (2H，m，H-2'，2")，1. 03 (6H，t，$J$ = 9. 6 Hz，H-8'，8")，0. 87 (6H，t，$J$ = 9. 6 Hz，H-6'，6")。$^{13}$C-NMR-DEPT (150 MHz，acetone-$d_6$) $\delta$：165. 4 (C-1，s)，136. 3 (C-2，d)，129. 4 (C-3，d)，129. 4 (C-4，t)，136. 3 (C-5，s)，129. 4 (C-6，s)，129. 4 (C-7，s)，165. 4 (C-8，s)，67. 8 (C-1'，s)，40. 3 (C-2'，t)，32. 8 (C-3'，d)，30. 2 (C-4'，d)，24. 5 (C-5'，q)，15. 6 (C-6'，t)，25. 1 (C-7'，s)，12. 3 (C-8'，d)，67. 8 (C-1"，d)，40. 3 (C-2"，t)，32. 8 (C-3"，s)，30. 2 (C-4"，q，24. 5 (C-5"，s)，15. 6 (C-6"，s)，25. 1 (C-7"，t)，12. 3 (C-8"，q)。以上数据与文献（Li et al., 2021）基本一致，故鉴定化合物 **22** 为对苯二甲酸二辛酯。

**2.2 抑菌活性测试结果**

由表 1 可知，化合物 **2** 对绿脓杆菌、枯草芽孢杆菌，化合物 **3** 对枯草芽孢杆菌，化合物 **8** 对绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌，化合物 **17** 对绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌有抑制作用。其中化合物 **2** 对枯草芽孢杆菌的抑制作用于卡那霉素无显著差异($P$＞0.05)。

表 1 化合物抑菌活性

Table 1 Antibacterial activities of compounds

| 样品名称 Sample name | 绿脓杆菌 *Pseudomonas aeruginosa* | | 金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus* | | 枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 抑菌圈 Inhibition zone (mm) | MIC (mg·mL$^{-1}$) | 抑菌圈 Inhibition zone (mm) | MIC (mg·mL$^{-1}$) | 抑菌圈 Inhibition zone (mm) | MIC (mg·mL$^{-1}$) |
| 化合物 **2** Compound **2** | 10.35±0.73 | 8.0 | — | — | 20.16±1.02* | 1.0 |
| 化合物 **3** Compound **3** | — | — | — | — | 12.34±0.89 | 4.0 |
| 化合物 **8** Compound **8** | 17.01±0.85 | 4.0 | 13.23±0.91 | 4.0 | 11.67±0.83 | 4.0 |
| 化合物 **17** Compound **17** | 8.16±0.56 | 12.0 | 8.26±0.71 | 12.0 | — | — |
| 阳性组 Positive group | 20.17±1.06 | 1.0 | 18.62±0.97 | 4.0 | 20.34±0.95 | 1.0 |

注：与阳性组比较，*表示 $P$>0.05。—表示无抑菌作用。

Note: Compared with positive group, * indicates $P$ > 0.05. — indicates no antibacterial effect.

## 3 讨论与结论

椿根皮具有良好的抑菌抗炎活性，但关于其化学成分的报道较少。为了探讨其抑菌的物质基础，本文从椿根皮中分离鉴定出 22 个化合物，均为首次从椿根皮中分离得到，结构主要涉及酚类、黄酮、甾醇、生物碱等。而苦木科植物中单体化合物的报道主要包括苦木素、生物碱、木脂素、黄酮、三萜、蒽醌等，提示同科不同植物的化学成分可能存在较大不同。

随着食品药品行业“禁抗、减抗”的呼吁，天然抑菌活性剂的开发利用为日前研究的热点。既往研究表明椿根皮提取物对绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌、白色念珠菌和大肠杆菌具有良好的抑制活性（王婉卿等，2020），但其未对发挥抑菌活性的物质基础进行阐述。本研究抑菌活性测试结果显示化学物 **2** 对枯草芽孢杆菌的抑菌圈直径大于 20 mm，在药物敏感性等级划分中属于极度敏感，而且 MIC 仅为 1.0 mg·mL$^{-1}$，提示化合物 **2** 可能为主要的抑菌活性成分。此外，化学物 **3**、化合物 **8**、化合物 **17** 也具有良好的抑菌活性，可扩展抑菌圈范围，为潜在的抑菌抗炎成分。以上抑菌物质的结构种类涉及黄酮、酚类苯乙酮等，表明椿根皮抑菌活性是多种类成分协同作用的效果。本文丰富了椿根皮化学成分的资料库，为抑菌活性的药物研发提供了一定的帮助。

**参考文献：**

AFSHAR FH, DELAZA RA, NAZEMIYEH H, et al., 2017. Melilotoside derivatives from *Artemisia splendens* (Asteraceae) [J]. Rec Nat Prod, 11(1): 43-51.

CRAVEIRO AA, SILVEIRA ER, 1982. Two cleistanthane type diterpenes from *Croton sonderianus* [J]. Phytochemistry, 21(10): 2571-2574.

DONG H, GOU YL, CAO SG, et al., 1999. Eicosenones and methylated flavonols from *Amomum koenigii* [J]. Phytochemistry, 50(5): 899-907.

DU YQ, LIN B, YAN ZY, et al., 2019. Enantiomeric 8，4′-type oxyneolignans from the root barks of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle and their neuroprotective effects against $H_2O_2$-induced SH-SY5Y cells injury [J]. Fitoterap, 139(11): 104403.

DU YQ, YAN ZY, CHEN JJ, et al., 2019. The identification of phenylpropanoids isolated from the root bark of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle[J]. Nat Prod Res, 1643(7): 861-863.

Editorial Committee of Flora of China Chinese Academy of Sciences 1998. Flora Reipublicae Popularis Sinicae [M]. Beijing: Science Press, 23: 38-41. [中国科学院中国植物志编委会，1998. 中国植物志[M]. 北京：科学出版社，23：76-79.]

KITAGAWA I, CHEN WZ, HORI K, et al., 1998. Chemical studies of Chinese licorice-roots.II. five new flavonoid constituents from the roots of *Glycyrrhiza aspera* PALL. collected in Xinjiang [J]. Chem Pharm Bull, 46 (10): 1511-1517.

KUANG HX, YANG BY, TANG L, et al., 2010．Baimantuoluosides A-C，three new withanolide glucosides from the flower of *Datura metel* L. [J]. Helv Chim Acta, 92(2): 1315-1323.

LI DX, ZENG XJ, YANG LM, 2013. Preliminary study on bacteriostasis of the *Hollyhock* flower by flow cytometry[J]. Mod J Integr Tradit Chin West Med, 26 (8): 683-686. [李东霞， 曾祥吉，杨丽敏，2013．流式细胞术检测蜀葵花抑菌作用的初步研究[J]．现代中西医结合杂志，22(36)：3991-3993.]

LI MS, KE YY, ZHANG ZQ, et al., 2021. Study on chemical constituents from tems and leaves of *Sabia parviflora* and their hepatoprotective activity [J]. Chin Trad Herb Drug, 52(23) : 7096-7104. [李曼姝，柯银铅，张紫琴，等，2021．小花清风藤茎叶化学成分及其保肝活性研究[J]．中草药，52(23)：7096-7104.]

LI N, 2021. Chemical constituents from *Uraria crinita* and their anti-renal interstitial fibrosis activity in vitro [J]. Chin Trad Pat Med, 43(2) : 393-399. [李南，2021．虎尾轮根化学成分及其体外抗肾间质纤维化活性[J]．中成药，43(2)：393-399.]

LI YZ, WEN YZ, YANG XZ, et al., 2020. Chemical constituents from ethyl acetate extract of *Eupatorium adenophorum* [J]. Chin Trad Herb Drug, 51 (4): 932-936. [李余钊，文琰章，杨新洲，等，2020．紫茎泽兰醋酸乙酯部位化学成分研究[J]．中草药，51(4)：932-936.]

LI YP, PAN ZH, FU YX, et al., 2021. Anti-inflammatory constituents of *Clerodendranthus spicatus* [J]. Guihaia. [12-28].http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q. 20211029.1328.008. html. [李毅鹏，潘争红，符毓夏，等，2021．猫须草抗炎活性成分研究[J/OL]．广西植物. [12-28].http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20211029.1328.008.html. ]

LI YK, 1991. Experimental methods of traditional Chinese medicine [J]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press: 286-289.[李仪奎，1991．中药药理实验方法学[M]．上海：上海科学技术出版社：286-289.]

LIU CH, ZHANG JJ, 2003. Treatment of radiation proctitis with modified Zhenrenyangzangtang combined with root bark of the *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle powder [J]. Shandong J Tradit Chin Med, 22(12) : 731-732.[刘昌海，张家驹，2003．真人养脏汤合椿根皮散治疗放射性直肠炎 20 例[J]．山东中医杂志，22(12)：731-732．]

LIU XY, JI CJ, PENG WW, 2018. Chemical constituents from *Citrus aurantium* L[J]. Chin J Pharm, 53 (19): 1627-1631. [刘欣媛，嵇长久，彭文文，2018. 中药枳壳的化学成分研究[J]. 中国药学杂志，53(19)：1627-1631.]

LUO W, TANG LJ, YUAN JD, et al., 2021. Chemical constituents of *Cirsium pendulum* [J]. Chin Trad Herb Drug, 52(22) : 6781-6789.[罗伟，汤良杰，袁建丹，等，2021．烟管蓟化学成分研究[J]．中草药，52(22)：6781-6789.]

MA S, ZHANG JX, ZHAO LQ, et al., 2021. Analysis of chemical constituents in fruiting body of *Suillus luteus* [J]. Chin Mod Chin Mat Med, 23(8): 1357-1362. [马帅，张金秀，赵立强，等，2021．黄乳牛肝菌化学成分分析[J]．中国现代中药，23(8)：1357-1362．]

OMAR AM, DIBWE DF, TAWILA AM, et al., 2019. Chemical constituents of *Anneslea fragrans* and their antiausterity activity against the PANC-1 human pancreatic cancer cell line [J]. J Nat Prod, 82(11): 133-3139.

QI X, CHEN ZH, GAO L, et al., 2011. Isolation and structure identification of alkaloid and quassinoids from root bark of *Ailanthus altissima* [J]. Chin Trad Herb Drug, 42 (6) : 1057-1060. [齐鑫，陈智华，高璐，等，2011．椿根皮中生物碱及苦木素类化合物的分离与鉴定[J]．中草药，42(6)：1057-1060.]

SON AR, CHOI JY, KIM J A, et al., 2005. Isolation of melanogenesis inhibitors from *Ponciri fructus* [J]. Kor J Pharmacogn, 36(1): 1-8.

VIRGINIE E, GESQUIERE L MT, JOSEPH T, et al., 2018. Alchornoic acid derivatives from the fruits of *Alchornea cordifolia* (Schumach. & Thonn.) Muell.Arg. (Euphorbiaceae) [J]. Phytochem Lett, 23(1): 62-65.

WANG WQ, WANG W, WANG L, 2020. Study on antimicrobial test *in vitro* and active fraction of *Cortex ailanthi* [J]. JETCM, 29 (7): 1209-1212. [王婉卿，王伟，王雷，2020．椿根皮体外抑菌和活性部位的研究[J]．中国中医急症，29(7)：1209-1212．]

XIE AR, WEI W, HAO EW, et al., 2021. Chemical constituents from the ethyl acetate extract in leaves of the *Saccharum* of ficinarum [J]. Guihaia. [2021-12-28].http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.q. 20210818.1243.002.html.] [谢安然，韦玮，郝二伟，等，2021．甘蔗叶乙酸乙酯部位化学成分研究[J/OL]．广西植物.[2021-12-28].http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.q.20210818.1243.002.html.]

YAN ZY, LV TM, WANG YX, et al., 2020. Terpenylated coumarins from the root bark of *Ailanthus altissim*a (Mill.) Swingle[J]. Phytochemistry, 175(7): 2361-2367.

YU Q, 2021. Study on the chemical constituents from the aerial parts of *Aralia californica* [J]. J Guangdong Pharm Univ, 37(1) : 1-5. [ 余茜，2021．加州楤木地上部位化学成分研究[J]．广东药科大学学报，37(1)：1-5.]

ZHANG Z, NI SW, XU X, et al., 2021. Chemical constituents of *Cassia occidentalis* [J]. Chin J Chin Mat Med, 46(15) : 3873-3876. [张再，倪绍伟，徐雪，等，2021．望江南的化学成分研究[J]．中国中药杂志，46(15)：3873-3876.]

ZHENG XM, PAN D, CAO J, et al., 2020. Chemical constituents from *Arisaema amurense* [J]. Chin Trad Pat Med, 42 (1): 112-115. [ 郑琇梅，潘多，曹杰，等，2020．东北天南星化学成分的研究[J]．中成药，42(1)：112-115．]

ZHOU QM, PENG C, LU TY, et al., 2016. Chemical constituents from *Fritillaria unibracteata* [J]. J Chin Med Mat, 39 (10) : 2237-2239. [周勤梅，彭成，陆廷亚，等，2016．暗紫贝母化学成分研究[J]．中药材，39(10)：2237-2239．]

ZHOU XH, YUAN YM, YU X, et al., 2021. Chemical constituents from *Ailanthus altissima* and their antitumor activities *in vitro* [J]. Chin Trad Pat Med, 43(7) : 1782-1787. [ 周晓欢，袁亚敏，余玺，等，2021．椿根皮化学成分及其体外抗肿瘤活性[J]．中成药，43(7)：1782-1787.]

ZHU YF, ZHOU QM, FENG GB, et al., 1999. Antimicrobial test *in vitro* of *Cortex toonae* and *Cortex ailanthi* [J]. Chin Mat Med Nat Med, 16(6) : 19-21. [朱育凤，周琴妹，丰国炳，等，1999．香椿皮与臭椿皮的体外抗菌作用比较[J]．中药与天然药物，16(6)：19-21.]

ZOU YS, ZE RDW, LIN CZ, et al., 2019. Chemical constituents of *Delphinium brunonianum* [J]. J Chin Med Mat, 42 (8): 1806-1809. [邹园生，泽仁达瓦，林朝展，等，2019．囊距翠雀花化学成分研究[J]．中药材，42(8)：1806-1809.]